

UMSETZUNG EINER KOMPLEXEN SANIERUNGSMASSNAHME BEI DICHTER WOHNBEBAUUNG – KOMBINATION KLASSISCHER UND INNOVATIVER SANIERUNGSTECHNIKEN

Mark Zittwitz, Wito Reinhardt, Dirk Brozio, Volker Jungk

1 Einführung

1.1 Standort

Auf einem Grundstück mit dichter Wohnbebauung in der Leipziger Südvorstadt wurde bis etwa 1994 eine chemische Reinigung betrieben. Bei der Reinigung der Textilien wurden leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) eingesetzt. Im Rahmen der bisherigen Untersuchungen wurden intensive Boden-, Bodenluft- und Grundwasserverunreinigungen (bis > 100.000 µg/L) mit LHKW nachgewiesen. Weiterhin wurden massiv mit LHKW verunreinigte Schlämme in den Abwasserkanalisationen des Grundstückes nachgewiesen. Zur Gefahrenabwehr sind Sanierungsmaßnahmen erforderlich. Die Sanierungsmaßnahmen werden aus Mitteln der Altlastenfreistellung des Freistaates Sachsen finanziert.

1.2 Untergrunderbau

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Leipziger Tieflandsbucht. Für die Sanierungsmaßnahmen relevant sind die Lockergesteinsbildungen des Quartärs. Das Quartär wird im Liegenden durch Schluffe und sandige Tone des Tertiärs unterlagert. Die Basis des Quartärs liegt bei ca. 21 m unter GOK (ca. 98 m über NN). Der untere Teil des Quartärprofils wird durch frühlsterkaltzeitliche Schotter (Frühlsterterrasse) mit einer Mächtigkeit von 10 m bis 11 m gebildet. Diese werden dem Grundwasserleiter (GWL) 1.8 zugeordnet. Darüber folgt eine mit ca. 0,3 m geringmächtige Schicht des Leipziger Bändertons und anschließend Geschiebemergel und Geschiebelehm der Elster und Saalekaltzeit mit einer Gesamtmächtigkeit von 6 m bis 9 m. In den Geschiebemergel sind lokal Schmelzwassersande mit einer nachgewiesenen Mächtigkeit von max. 2 m eingelagert. Diese Sande werden dem GWL 1.6 (glazifluvatile Nachschüttbildungen der Elster-2-Kaltzeit) zugeordnet. Den Abschluss des Profils bilden 1 m bis 3 m mächtige Auffüllungen. Auf Teilen der Fläche ist der natürliche Bodenaufbau (Auffüllung bis einschließlich Bändertone) durch tiefgehende Bodenaustauschmaßnahmen ersetzt.

Der GWL 1.6. ist ein Geringwasserleiter. Der GWL führt gespanntes Grundwasser in den vorgenannten Schmelzwassersanden und sandigen Schichten innerhalb des Geschiebemergels und weist einen kf-Wert von 1×10^{-8} m/s bis 1×10^{-7} m/s auf.

Als Hauptgrundwasserleiter fungieren die frühlsterkaltzeitlichen Schotter des GWL 1.8. Die Wassersättigung des 10 m bis 11 m mächtigen GWL beträgt zwischen 8 m und 9 m (ungespanntes Grundwasser). Das Grundwasser des GWL 1.8. fließt in nordwestlicher Richtung zur Elsteraue als natürlichem Vorfluterniveau. Der hydraulische Gradient beträgt ca. 0,0016, der kf-Wert liegt zwischen $1,5$ und $4,5 \times 10^{-3}$ m/s.

Eine schematische Zusammenfassung der Untergrundverhältnisse enthält Tab. 1 (siehe auch Abb. 4).

Tab. 1: Untergrundaufbau am Standort Löbniger Straße, schematisch

Ø Teufe	Ø Mächtigkeit	Bezeichnung	Lithologie	Grundwasser
0 – 3 m	3 m	Auffüllung		
3 – 9 m	6 m	Geschiebemergel und Geschiebelehm der Elster und Saalekaltzeit	Schluff, feinsandig mit eingeschalteten teils kiesigen Sandlagen	GWL 1.6, gespannt, kf-Wert 1×10^{-8} - 10^{-7} m/s
9 m	0,3 m	Bänderton	Ton, schluffig, kohlig	
9 - 20 m	11 m	frühelsterkaltzeitliche Schotter	Grobsand, Fein- und Mittelkies	GWL 1.8, ungespannt, $1,5 - 4,5 \times 10^{-3}$ m/s
> 20 m		tertiäre Schluffe und Tone	Schluff schwach tonig, schwach feinsandig	

1.3 Kontaminationssituation

Im Rahmen der bisherigen umfangreichen Untersuchungen wurde festgestellt, dass im Untersuchungsgebiet Boden-, Bodenluft- und Grundwasserbelastungen mit ausschließlich LHKW vorliegen. Die Verunreinigungen sind auf eine über mehrere Jahrzehnte andauernde Nutzung des Standortes als chemische Reinigung zurückzuführen (Handhabungs- und Umfüllverluste mit zur Reinigung eingesetzten leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen).

Bei den vorliegenden LHKW handelt es sich um die in der Reinigung eingesetzten Produkte (Trichlorethen (TCE) und Tetrachlorethen (PCE)) sowie deren Abbauprodukte (hauptsächlich cis-1,2-Dichlorethen (c-DCE) und Vinylchlorid (VC)).

Die LHKW sind vorwiegend als Phase in den Untergrund eingedrungen, haben sich im Bereich des GWL 1.6 horizontal ausgebreitet und sind anschließend vertikal bis in den GWL 1.8 eingedrungen. Ausgehend von der ehemaligen chemischen Reinigung hat eine Verlagerung der Grundwasserverunreinigungen im GWL 1.8 entsprechend der Grundwasserfließrichtung (Nordwesten) stattgefunden. So wurden bei Grundwasserbeprobungen im Abstrom der ehem. chemischen Reinigung in 180 m Entfernung LHKW-Gehalte bis zu 7 mg/L und in 300 m Entfernung bis zu 2 mg/L nachgewiesen.

Es wurde vermutet, dass Bodenverunreinigungen in Form akkumulierter Phasentröpfchen, unterhalb des Geschiebemergels / Bändertons im Grundwasserwechselbereich des GWL 1.8 eine Gefährdung für eine weitere Zustandsverschlechterung des Grundwassers im GWL 1.8 darstellen, da in Abhängigkeit von der Höhe des Grundwasserspiegels eine Lösung der LHKW stattfinden kann.

2 Sanierungsmaßnahmen

Die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen wird durch

- den Untergrundaufbau und
- die Lage auf einem schwer zugänglichen Hinterhof

erschwert.

Im Ergebnis der Sanierungsuntersuchung der Mull und Partner Ingenieurgesellschaft wurde als Sanierungsvorzugsvariante eine Quellensanierung im Boden und eine In-situ-Sanierung des Grundwassers und des Grundwasserwechselbereiches des GWL 1.8 mit dem Methan-Biostimulationsverfahren vorgeschlagen. Der Sanierungsvorschlag wurde von den zuständigen Institutionen bestätigt und anschließend in ein Sanierungskonzept überführt.

Hierbei wurde behördlich festgelegt, dass die Sanierung in 2 Sanierungsphasen ablaufen soll:

Sanierungsphase 1: Rückbau der Gebäudesubstanz, Rückbau der Abwasserleitung und Beseitigung der Bodenbelastungen bis ca. 11 m u. GOK (Bodenaushub und Großlochbohrungen) einschließlich einer hydraulischen Begleitmaßnahme (Abstromsicherung) und einer anschließenden Bodenluftabsaugung. Diese Maßnahmen fanden von August 2008 – Juni 2012 statt.

Sanierungsphase 2: Vorbereitung und Durchführung der In-situ-Sanierung des Grundwassers und des Grundwasserwechselbereiches (Methan-Biostimulationsverfahren). Lfd. seit Juni 2012

2.1 Sanierungsphase 1

2.1.1 Gebäuderückbau und Bodenaushub

Auf Grundlage des Sanierungsplanes sowie der Ausführungsplanung der Mull und Partner Ingenieurgesellschaft zur 1. Sanierungsphase erfolgte in 2008 der Gebäuderückbau auf dem Sanierungsgelände.

In diesem Zusammenhang wurden die ehem. Produktionsgebäude mit Reinigungsanlagen sowie diverse Nebengebäude auf dem Sanierungsgrundstück entkernt und bis zu den Bodenplatten rückgebaut. Im Ergebnis des Gebäuderückbaus waren lediglich Reste des Kellers des ehem. unterkellerten Gebäudes vorhanden.



Abb. 1: Gebäuderückbau

Im Anschluss an den Gebäuderückbau erfolgte eine Beweissicherung Boden. In deren Ergebnis wurde abgeschätzt, dass auf dem Sanierungsgelände bis in eine Tiefe von rund 11 m u. GOK (grundwasserungesättigte Bodenzone) rund 5 t LHKW vorliegen.

Im Ergebnis wurde festgelegt, für den Voraushub eine max. Tiefe von 4 m unter GOK bzw. 2 m unter Kellersohle zu definieren sowie die tieferen mit LHKW belasteten Bodenbereiche (unterhalb 4 m) durch das Großlochbohrverfahren zu gewinnen.

Von August 2009 bis Mai 2010 fanden folgende Maßnahmen statt:

- Herstellung einer Zufahrt zum Sanierungsgrundstück;
- Errichtung der Einhausung im Bereich des geplanten Bodenaushubes;
- Bergung der Alt-Kanalisation, Rückbau der unterirdischen Bauwerksreste, Bodenaushub bis max. 4 m u. GOK und Verfüllung der entstandenen Baugrube.

Im Rahmen des Voraushubs wurden auf dem Sanierungsgrundstück insgesamt rund 1.200 m³ des mit LHKW verunreinigten Bodens, Bauwerksreste und die mit LHKW-haltigen Schlämmen verfüllte Altkanalisation bis in eine max. Tiefe von 4 m u. GOK ausgehoben. Anschließend wurde die entstandene Baugrube mit insgesamt rund 1.100 m³ Kiessand wieder verfüllt. Die verfüllte Baugrube stellte gleichzeitig das Bohrplanum für das Großlochbohrgerät zum Bodenaustausch dar.



Abb. 2: Voraushub mit Einhausung

Der Bodenaustausch mittels Großlochbohrungen wurde zwischen Juni und September 2010 durchgeführt (AN Heilit Umwelttechnik GmbH).

In Abstimmung mit den fachlich an der Maßnahme Beteiligten wurde – unter Beachtung des Angemessenheitsgrundsatzes – festgelegt, dass mit der Sanierung ein geometrisches Sanierungsziel einzuhalten ist (Ausführung von 270 Großlochbohrungen). Bodenbereiche, mit LHKW-Restbelastungen, am Rand des Bodensanierungsbereiches (Grenzbereich zu Nachbarbebauungen) sollten im Untergrund belassen werden.

Im Rahmen des Bodenaustauschs mittels Großlochbohrverfahren wurden auf einer Fläche von rund 190 m² bis in eine Tiefe von max. 10,7 m u. Bohrplanum insgesamt rund 2.270 m³ Boden gewonnen. Mit dem Boden wurden ca. 3,3 t LHKW geborgen. Die Bohrtiefe der insgesamt 270 Bohrungen (Bohrdurchmesser 1.000 mm) orientierte sich an dem Ziel der vollständigen Erfassung des GW-ungesättigten Bodenteils, inkl. des GW-Wechselbereiches des GWL 1.8 (GW-Stand GWL 1.8 lag bei 10,7 m u. Bohrplanum). Die Großlochbohrungen wurden überschnitten gebohrt (keine Ausbildung von Zwickeln) und mit Kies wiederverfüllt. Die äußeren Bohrungen wurden mit einer Kies-Zement-Suspension zur Trennung des GWL 1.6/1.8 und zur Einhaltung von Standsicherheitsvorhaben zur Nachbarbebauung verfüllt (Bohrpfahlwand).



Abb. 3: Bodenaustausch im Großlochbohrverfahren

2.1.2 Abstromsicherung

Unter Berücksichtigung, dass bei der Bodengewinnung im Großlochbohrverfahren eine starke Mobilisierung der LHKW aus dem Boden in das Grundwasser zu erwarten war, wurde eine hydraulische Begleitmaßnahme (sog. Abstromsicherung) erforderlich.

Es wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Errichtung von GWMS (teilweise genutzt als Förderbrunnen);
- Bestückung von 3 GWMS mit Förderpumpen und Vorhaltung einer GW-Reinigungsanlage;
- Gewinnung des Grundwassers aus diesen Förderbrunnen, Aufbereitung des Grundwassers (Kompaktstripper mit nachgeschalteter WAK) und Ableitung des vorgereinigten Grundwassers in die Kanalisation der KWL.

Der Betrieb der Abstromsicherung ist grundsätzlich zu unterscheiden in:

- Abstromsicherung während der Errichtung der Großlochbohrungen (13.07.-23.09.2010);
- Abstromsicherung nach den Großlochbohrungen (Nachlaufphase) (seit 24.09.2010).

Die Nachlaufphase der Abstromsicherung diente der weiteren Verringerung der LHKW-Gehalte im Grundwasser und der Schaffung optimaler Voraussetzungen für die anschließende Sanierungsphase 2 (Grundwassersanierung mit dem Methanbiostimulationsverfahren).

Insgesamt wurden (Stand 31.12.2012): 260 Tm³ gefördert; davon während der Großlochbohrungen (10 Wochen) 31.894 m³. Insgesamt wurden mit der Abstromsicherung 3,2 t LHKW gewonnen.

2.1.3 Bodenluftabsaugung

Zum Erreichen einer weiteren signifikanten Dekontamination des Untergrundes wurde im Anschluss an die Bodenaustauschmaßnahmen eine Bodenluftabsaugung in Betrieb genommen.

Hierbei wird die Bodenluft aus dem grundwasserungesättigten Teil des GWL 1.8 und dem Bodenaustauschbereich abgesaugt und über LAK gereinigt. Im Rahmen der bisherigen Bodenluftabsaugung (seit 15.11.2010) wurden mit Stand 31.12.2012 insgesamt 4,5 Mio. m³ Bodenluft gefördert und auf diese Weise rund 1,7 t LHKW aus dem Untergrund entfernt.

2.2 Sanierungsphase 2 Methan-Biostimulationsverfahren

Der biologische Abbau beim Methan-Biostimulationsverfahren wird durch methanabbauende Mikroorganismen, so genannte methanotrophe Mikroorganismen ermöglicht. Die ubiquitär verbreiteten, aeroben methanotrophen Mikroorganismen produzieren zur Verwertung ihres bevorzugten Wachstumssubstrates Methan das Enzym Methanmonooxygenase, das als unspezifische Nebenaktivität eine Epoxidierung von LHKW (und zahlreicher anderer Verbindungen) bewirken kann, die dann aufgrund der Instabilität des Epoxides spontan zu weiteren Produkten zerfallen, die entweder bereits chlorfrei sind oder von heterotrophen Mikroorganismen unter einfachen Bedingungen mineralisiert werden können. Da Methan und Sauerstoff in der Regel nicht in ausreichenden Mengen im Untergrund vorhanden sind, ist der aerobe Abbau für die natürliche Selbstreinigung kaum relevant. Er kann jedoch durch das Schaffen entsprechender Bedingungen im Untergrund forciert werden (Methan-Biostimulationsverfahren).

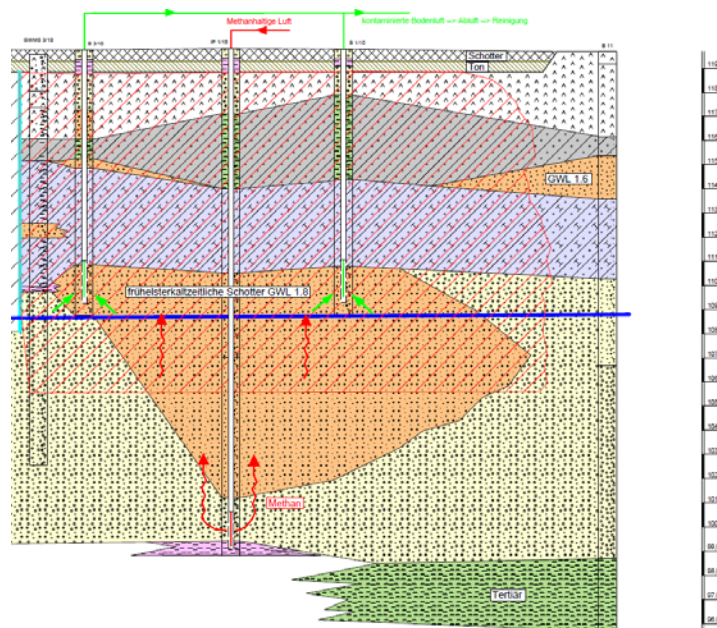


Abb. 4: Vertikalschnitt vom Sanierungsstandort (im nicht ausgetauschtem Bereich) mit beispielhafter Positionierung von Injektions- und Absaugelementen im GWL 1.8

Das Methan-Biostimulationsverfahren nutzt die beschriebene Fähigkeit methanotropher Mikroorganismen LHKW abzubauen. Das Verfahren kombiniert dabei pneumatische und biologische Prozessstufen. Durch Infiltration eines methanhaltigen Luftgemisches in der gesättigte Bodenzone unterhalb der Kontamination und die Absaugung der Luft in der ungesättigten Bodenzone oberhalb der Kontamination werden die leichtflüchtigen Schadstoffe ausgetragen, gleichzeitig wird der biologische in situ - Abbau induziert. Abb. 4 zeigt beispielhaft Positionierung von Injektions- und Absaugelementen in einem Vertikalschnitt vom Sanierungsstandort.

2.2.1 Laboruntersuchungen

Methanotrophe Mikroorganismen sind als Teil der natürlichen Bodenmikroflora ubiquitär verbreitet, ihre Konzentration ist in den meisten Böden jedoch gering. Deshalb sollte zunächst im Rahmen von Laboruntersuchungen (AN ISTEV GmbH) ermittelt werden, welches Potenzial am Standort unter den gegebenen Untergrund- und Belastungsverhältnissen für einen biologischen Abbau der vorhandenen LHKW-Kontamination gegeben ist und welche Maßnahmen ggf. geeignet sind, das biologische Abbaupotential zu steigern.

Zentrales Element der Laboruntersuchungen waren Batch-Versuche unter Bedingungen die das Wachstum methanotropher Mikroorganismen begünstigen mit einer Erfassung des Substratverbrauchs über ein manometrisches Messprinzip (siehe Abb. 5). Zur Beurteilung des LHKW-Abbaus wurden 8 Batches (4 x aktiv, 4 x steril) angesetzt und nach unterschiedlichen Laufzeiten (0, 14, 28 und 56 Tage) geöffnet und einem umfangreichen Analyseprogramm unterzogen.

Im Laborversuch konnte gezeigt werden, dass:

- Mikroorganismen im kontaminierten Bodenmaterial und in Wasserproben vom Standort in großer Zahl vorhanden sind,
- methanotrophe Mikroorganismen verfahrensgemäß vermehrbar sind,
- die Schadstoffe mikrobiologisch abgebaut werden,
- toxische Inhaltsstoffe oder Metaboliten die Abbauleistung der Mikroorganismen nicht beeinträchtigen.



Abb. 5: Versuchsaufbau der Batch-Versuche zum biologischen Schadstoffabbau unter methanotropen Bedingungen

2.2.2 Feldversuch

Für die Anwendung des Verfahrens ist die Versorgung der autochthonen Mikroorganismen mit Sauerstoff, Methan und ggf. Lachgas und Triethylphosphat erforderlich. Die Distribution dieser Stoffe im Untergrund erfolgt durch Belüftung der gesättigten Bodenzone unterhalb der Kontamination mit einem entsprechenden Luftgemisch. Zur Erfassung ausgestrichter Schadstoffe und zur Verhinderung eines diffusen Wiederaustrages der Additive wird in der ungesättigten Bodenzone oberhalb der Kontamination eine Bodenluftabsaugung betrieben. Das Vorhandensein vertikaler Gaswegsamkeiten war daher Bedingung für den Einsatz des

Verfahrens am Standort. Im Rahmen eines Feldversuches (AN ISTEV GmbH) wurden demzufolge prinzipielle vertikale Gaswegsamkeiten und die Reichweiten der Gasinjektion und Bodenluftabsaugung ermittelt. Mit den Gasen Helium, Methan und (Luft-)Sauerstoff wurden im Feldversuch ein nichtreaktiver Tracer (Helium) ein reaktiver Tracer, der im Untergrund nicht oder nur in geringem Maße vorhanden war (Methan) und ein reaktiver Tracer der bereits im Untergrund vorhanden war (Sauerstoff) eingesetzt.

Die Bestimmung der Gehalte der eingesetzten Gase in der Zu- und Abluft sowie der ausgestriipten LHKW in der Abluft erfolgten sowohl mittels online-Messtechnik als auch laboranalytisch.

Die mit dem Versuchsregime korrespondierende Zu- und Widerabnahme der Gehalte an Helium, Methan und Sauerstoff in der Bodenluft belegte zunächst qualitativ das Vorhandensein vertikaler Gaswegsamkeiten. Darüber hinaus konnten Laufzeiten der Gase vom Injektions- zum Absaugpegel im Stundenbereich (Methan, Helium) ermittelt werden. Mit Hilfe dieser Laufzeiten und der Abklingkurve des Methangehaltes nach Abschalten der Methandosierung konnte eine Vordimensionierung der Injektionszyklen erfolgen.

Neben den im allgemeinen mit fortschreitender Versuchsdauer abnehmenden Schadstoffgehalten in der abgesaugten Bodenluft wurden während der Betriebszyklen der Luftinjektion Peaks - v.a. am Anfang deutlich sichtbar - erhöhte Gehalte detektiert („abklingende Sägezahnkurve“). Dieser typische Verlauf des Austrages konnte auf den Spargingeffekt, d.h. auf das Ausstriipen von LHKW aus dem Grundwasser zurückgeführt werden.

Im Feldversuch konnte gezeigt werden, dass:

- am Standort eine Bodenluftabsaugung in der ungesättigten Zone des GWL 1.8 prinzipiell machbar ist,
- eine Bodenluftabsaugung (mit einem mittleren LHKW-Austrag von ca. 3 kg/d im Feldversuch) sehr effektiv betrieben werden kann,
- am Standort vertikale Gaswegsamkeiten vorhanden sind und eine gezielte / gesteuerte Gasinjektion erfolgen kann,
- durch AirSparging eine Mobilisierung residual gebundener LHKW in der gesättigten Bodenzone bewirkt wird und diese auf dem Luftpfad ausgetragen werden.

und somit die verfahrenstechnische Machbarkeit des Methan-Biostimulationsverfahren am Standort belegt werden. Es konnten horizontale Reichweiten (Radius = 7m) und somit eine optimierte Positionierung von Injektions- und Absaugelementen, eine vorläufige Optimierung von Luft-Injektions- und -Absaugzyklen (24 h AN / 24 h AUS) sowie eine vorläufige Optimierung der Methandosierung (6 h AN / 48 h AUS) ermittelt werden.

2.2.3 Full-Scale-Einsatz Methan-Biostimulation

Zur Umsetzung des Methan-Biostimulationsverfahrens wurden 13 Injektions- und Absaugelemente im GWL 1.8 errichtet. Sämtliche Leitungen wurden unter GOK verlegt, um eine Bebauung / Folgenutzung bei laufendem Sanierungsbetrieb zu ermöglichen. Für die Steuerung und Überwachung der Gasgemischinjektion und der Bodenluftabsaugung sowie zur Aufnahme der erforderlichen Aggregate und der Abluftreinigungstechnik wurden auf dem Sanierungsstandort zwei Kleincontainer errichtet. Verfahrenskennzeichen ist ein enorm hoher Automatisierungsgrad der Steuerung und Überwachung mit einer Echtzeitdarstellung des über eine qualifizierte Sensorik erfassten Sanierungsfortschritts über das Internet (AN Sensatec Berlin GmbH).

Neben allen prozessrelevanten Größen (Drücke, Durchflüsse, Temperaturen etc.) werden im Rahmen der Eigenüberwachung Konzentrationen von Methan (Injektionsgemisch, Rohluft

Absaugung und Raumlufte), LHKW (Roh- und Reinsluft Absaugung), Kohlendioxid und Sauerstoff (Rohluft Absaugung) sowie die Entwicklung der Milieuparameter im Grundwasser online überwacht. Die laboranalytische Überwachung der Roh- und Reinsluft sowie des Grundwassers erfolgt im Rahmen der Fremdüberwachung.

Zentrales Element der Prozesssteuerung ist eine zeit- und ereignisabhängige Ansteuerung der einzelnen, unabhängig voneinander betriebenen Pegelgruppen (jeweils Injektions- und Absaugelement) mit sich selbst regulierenden Begasungs- und Absaugzyklen (Feedbacksteuerung) nach vorgegebenen Effektivitätskriterien (bspw. Unterschreitung eines Sollwertes für den Schadstoffaustrag oder vorzeitiger Durchbruch von Methan in die ungesättigte Bodenzone). Zudem wurden zahlreiche Sicherheits- und Alarmierungsalgorithmen in die Steuerung implementiert.

Nach 4 Monaten Betrieb wurden durch die Absaugung aus der ungesättigten Zone des GWL 1.8 ca. 100 kg LHKW ausgetragen. Zudem konnte durch das Monitoring die Aktivierung der methanotrophen Mikroorganismen belegt werden. In Summe aus biologischem Abbau und Schadstoffaustrag wurde bereits eine Zustandsverbesserung im Grundwasser und in der ungesättigten Bodenzone des GWL 1.8 durch das Methan-Biostimulationsverfahren nachgewiesen (Verringerung der Belastung um 60 % im Grundwasser und um 95 % in der Bodenluft).

Es wurde beobachtet, dass durch das pneumatische Verfahren keine wesentliche Unterstützung der wassergebundenen Schadstoffentfernung erwartet werden kann bzw. eine Mobilisierung und Verdrängung nicht zu besorgen ist. Im Gegenteil wurden die an den Abstromsicherungsbrunnen beobachteten stärkeren Abnahmen der LHKW-Gehalte auf ein Ausstrippen der leicht flüchtigen Schadstoffe zurückgeführt, d.h. durch den Lufteintrag erfolgte eine Mobilisierung von LHKW in der gesättigten Bodenzone, diese wurden jedoch in die ungesättigte Bodenzone überführt und dort in der abgesaugten Bodenluft detektiert.



Abb. 6: Ansicht des Geländes während der Sanierungsphase 2, Methan-Biostimulation

3 Überwachung der Sanierungsmaßnahmen

Die Sanierungsmaßnahmen wurden und werden im Rahmen einer Eigen- und Fremdüberwachung begleitet. Weiterhin findet ein halbjährliches Grundwassermonitoring statt.

Schwerpunkte der derzeitigen Überwachung der Sanierungsphase 2 sind:

- Die Kontrolle der ordnungsgemäßen Anlagenbetriebses;

- Die Überprüfung der Umgebungsluft hinsichtlich der strengen Vorgaben an den Anlagenbetrieb inmitten von Wohnbebauungen;
- Die Prüfung der Entwicklung der Schadstoffsituation im Grundwasser und in der Bodenluft hinsichtlich des Sanierungsfortschrittes.

Bestandteile der Überwachung sind:

- Eine Grundwasserströmungs- und Schadstofftransportmodellierung (Jungk Consult GmbH) mit Ableitung und halbjährlicher Überprüfung des im Grundwasser erreichbaren Sanierungszieles;
- Ein Isotopen-Monitoring (Isodetect GmbH).

4 Ausblick

Aufgrund verbliebener (Rest-)quellen ist die Prognose eines erreichbaren Sanierungszieles im Grundwasser abhängig von der mittelfristig sanierbaren Quellstärke und der langfristigen Nachlieferung. Zur Quantifizierung der Quellstärken wurden intermittierend betriebene Säulenversuche (BGD GmbH) und ein Immissionspumpversuch durchgeführt. Ergänzt durch die Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen konnte das Stofftransportmodell validiert werden. Bei Betrieb der Sanierungsmaßnahmen (Pump and Treat, MBSV) werden derzeit im Bereich der Quelle LCKW- Gehalte von 0,1 bis zu 10 mg/l ermittelt. Im nahen Abstrom fielen durch die Fließrichtungsumkehr die LCKW- Gehalte auf < 100 µg/l, wobei ein Teil der weiteren Fahne mit höheren Konzentrationen hydraulisch nicht gefasst wird. Auf der Basis der ermittelten Quellstärken und ihrer Verteilung muss laut den Berechnungen des Stofftransportmodells davon ausgegangen werden, dass ohne weitere Sanierung der Reboundeffekt zu LCKW- Konzentrationen im Grundwasser im Bereich der Restquellen zu flächig mehr als 10 mg/l LCKW führen würde. Im nahen Abstrom ist nach einer langen Rebound-Phase (10 Jahre) ein Anstieg auf bis zu 5 mg/l LCKW zu erwarten. Verbleibt dagegen nach der Sanierung nur die Desorption durch Sickerwasser aus den hangenden Schichten reduzieren sich nach einem Rebound die zu erwartenden LCKW- Konzentrationen in der Quelle auf lokale Bereiche mit max. 7 mg/l LCKW und ca. 0,125 mg/l im nahen Abstrom.

Dafür ist noch ein mehrjähriger Sanierungsbetrieb notwendig, der in Abhängigkeit der fassbaren Quellstärke zu optimieren ist.

5 Anschriften der Autoren

Mark Zittwitz, Sensatec Berlin GmbH, Johanna-Tesch-Str. 8, 12439 Berlin

Wito Reinhardt, Mull und Partner Ingenieurgesellschaft mbH, NL Leipzig, Nordstr. 10, 04416 Markkleeberg

Dirk Brozio, HEILIT Umwelttechnik GmbH, Haferwende 27, 28357 Bremen

Volker Jungk, Jungk Consult GmbH, Torstraße 177, 10115 Berlin